

大型航空機荷重に対応した鋼・コンクリート合成床版橋の誘導路への適用

九州大学大学院 学生会員 ○郭 勝華 九州大学大学院 フェロー 日野 伸一
九州大学大学院 正 会 員 山口 浩平 日本工営株式会社 非 会 員 石垣 直光
日本工営株式会社 正 会 員 友田 富雄

1. 背景および目的

空港拡張工事の問題として、施工時に空港土木施設を長期間封鎖し、既存の施設を大きく改修しなければならない点がある。そこで、既存構造物（連絡道路等）に影響を与えない拡張方法が必要となる。そこで、これらの課題を解決する新しい拡張方法として、既存の空港土木施設を跨ぐ形で大型航空機荷重に対応した橋梁（誘導路）を設置して、拡張する方法を提案する。この拡張計画には、航空機の輪荷重に耐え、既存の構造物に影響を与えない桁高の低い橋梁形式が必要である。

そこで本研究では、大型航空機荷重に対応した橋梁形式の提案を試みて、床版の疲労耐久性について検討した。

2. 対象橋梁の設計条件

提案する橋梁の設計条件^{1), 2)}、対象とする LA-1 区分に属する航空機荷重の諸元を表-1、表-2、図-1、図-2に示す。

設計条件を満たす橋梁形式として、既存の設計事例から経済性を考慮して合成桁橋と合成床版橋を検討対象とした。両タイプとも航空機荷重に対応できることが判断できたが、合成床版橋の方が、

- (1) 外形構造が単純なため、防食性能等を含めた維持管理面で有利である。
- (2) 施工時、足場や交通規制が不要であるため、供用中の空港設備への影響が少ない。

という点から、設計条件に適切であると判断した。提案する合成床版橋の断面諸元を図-3に示す。

3. 解析概要

汎用 FEM アプリケーションソフトを用いて、力学的基本特性であるたわみ、応力について設計条件と対比し、提案した大型航空機に対応する鋼・コンクリート合成床版橋の誘導路への適応性について検討を行った。解析モデルは支間 41.8m、幅員 60m の橋梁の対称性を考慮した 1/2 解析モデルとした。載荷する航空機荷重は、橋梁に最も不利な状況を考慮して、橋梁中央部に載荷させた。この場合、前輪は橋梁部上ではないが、後輪荷重に振り分けて載荷した。また、航空機対応の橋梁に関する基準は存在しないので、設計許容値は道路橋示方書²⁾から準用した。

載荷荷重は死荷重と活荷重にわけてモデル化した。死荷重は施工の手順を考慮して鋼 1 桁を架設した後、場所打ちコンクリートによる荷重と橋面上のアスファルト舗装による荷重の 2 種類である。コンクリートはひび割れ発生後、直線ひずみ軟化するひび割れ特性を考慮したモデルで 20 節点 3D ソリッド要素とした。また、鉄筋・鉄骨はひずみ硬化係数を $E/100$ としたバイリニアモデルで 8 節点薄肉シェル要素とした。材料係数は、コンクリートは圧縮強度 30 N/mm^2 、ヤング係数 30 kN/mm^2 、鉄筋（SD345）、鉄骨（SM490Y）は降伏強度 400 N/mm^2 、ヤング係数 210 kN/mm^2 とし、たわみの許容値は支間の $1/800$ とした。

表-1 設計条件

項目	性能
荷重	大型航空機の輪荷重
寸法	60m×41.8m
桁高	支間の1/20以下(1.7m)
施工性	既存施設を封鎖しないこと
供用年数	100年（年間交通量85,596回）

表-2 載荷荷重

種類	総重量 (kN)	脚荷重 (kN)	輪荷重 (kN)	接地圧 (N/mm^2)	接地幅 (mm)	接地長 (mm)	衝撃係数
航空機	3920	910	227.5	1.38	337	489	0.3
自動車	245	100	100	1.00	500	200	0.3

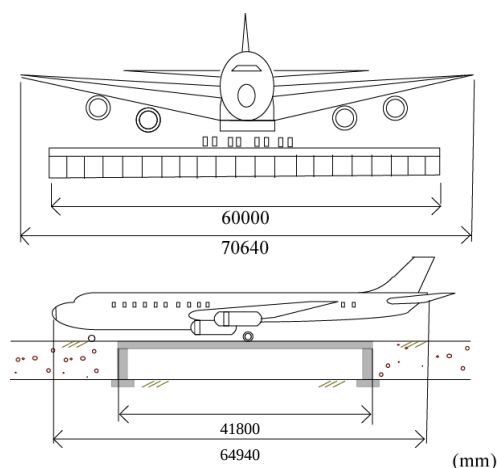


図-1 航空機・橋梁寸法

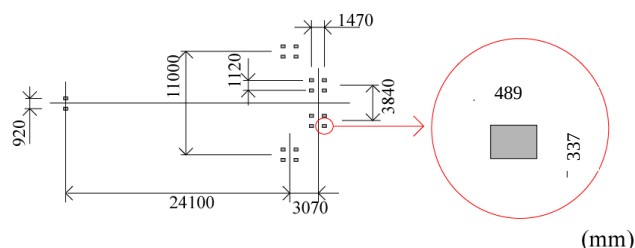


図-2 輪荷重配置

4. 解析結果

解析結果より、表-3 に示すように提案構造のたわみおよび各部位の発生応力は許容値以下であることがわかった。また、その発生応力は、死荷重を考慮しても安全側となることがわかった。図-4 に、航空機荷重による床版変形図を示す。同図より、自動車橋の満載荷重の変形とは異なり、橋梁中央の一点に集中的に輪荷重が作用する航空機荷重特有の変形を呈していることがわかる。

5. 疲労耐久性の検討

前述の解析結果から、航空機荷重は自動車荷重の場合と違って、橋梁中央の一点に集中的に輪荷重が作用するため、コンクリート床版の押抜きせん断耐力および疲労耐久性の検討が重要となる。そこで、松井氏らが提案した評価式³⁾を用いて、提案構造の押抜きせん断耐力および疲労耐久性を検討した。

松井氏らが提案した式(1)は、押抜きせん断破壊モデルを仮定し、圧縮域コンクリートのせん断耐力と鉄筋のダボ効果による剥離効果を考慮して提案した評価式である。また、式(4)、(5)は S-N 線図の縦軸に作用荷重 P と梁のせん断 P_{sx} との比をとった両対数型の評価式である。

$$P_{pcd} = \tau_{s,max} \{2(a+2x_m)x_d + 2(b+2x_d)x_m\} + \sigma_{t,max} \{2(4C_d + 2d_d + b)C_m + 2(a+2d_m)C_d\} \quad (1)$$

P_{pcd} : 押抜きせん断耐力

a, b : 載荷板の主鉄筋方向、配力鉄筋方向の辺長 (cm)

x_m, x_d : 主鉄筋および配力鉄筋に直角な断面の引張側コンクリートを無視した断面の中立軸深さ (cm)

d_m, d_d : 主鉄筋および配力鉄筋の有効高さ (cm)

C_m, C_d : 主鉄筋および配力鉄筋からのかぶり厚さ (cm)

$\tau_{s,max}, \sigma_{t,max}$: コンクリートの最大せん断、引張応力度 (kg/cm^2)

$$\tau_{s,max} = 0.252 \sigma_{ck} - 0.000256 \sigma_{ck}^2 \quad (\text{kg}/\text{cm}^2) \quad (2)$$

$$\sigma_{t,max} = 0.583(\sigma_{ck})^{2/3} \quad (\text{kg}/\text{cm}^2) \quad (3)$$

$$\log(P/P_{sx}) = -0.07835 \log N + \log 1.52 \quad (\text{乾燥時}) \quad (4)$$

$$\log(P/P_{sx}) = -0.07835 \log N + \log 1.24 \quad (\text{湿潤時}) \quad (5)$$

P : 作用荷重 (航空機輪荷重)

P_{sx} : 梁状化を考慮した床版の押抜きせん断耐力

$$P_{sx} = 2B(\tau_{s,max}x_m + \sigma_{t,max}C_m) \quad (6)$$

$$B = b + 2d_d \quad (7)$$

N : 走行回数

表-4 に示すように松井式による提案構造の押抜きせん断耐力は航空機荷重に比べて約 4.4 倍であり、十分に安全側であることがわかる。また、疲労耐久性の検討については、提案構造に不利な状況を考慮した湿潤状態の供用年数は、設計供用年数を大幅に上回り十分な

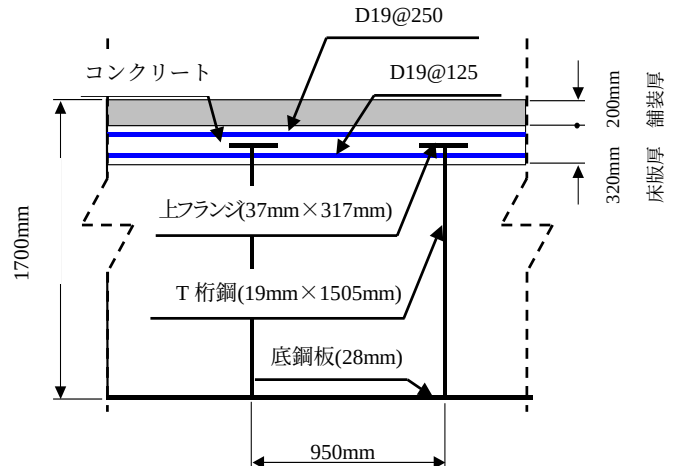


図-3 提案構造寸法

表-3 解析結果

項目	死荷重①		活荷重②	合計①+②	許容値
	均しコンクリート	アスファルト			
圧縮鉄筋(N/mm^2)	-	-13.8	-43.7	-57.5	-180
上フランジ(N/mm^2)	-71.9	-11.4	-30.1	-41.5	-210
引張鉄筋(N/mm^2)	-	-9.9	33.8	23.9	200
ウェブ(N/mm^2)	-6.7	-3.7	-11.3	-21.6	-210
底鋼板(N/mm^2)	38.1	19.3	46.2	103.6	210
たわみ (mm)	-	-17.4	31.6	31.6	52

表-4 疲労耐久性

航空機輪荷重 (kN)	押し抜きせん断力 (kN)	疲労耐久回数 (回)	供用年数		要求供用年数 (年)
			乾燥 (年)	湿潤 (年)	
296	1298	2.2E+10	257248	19133	100

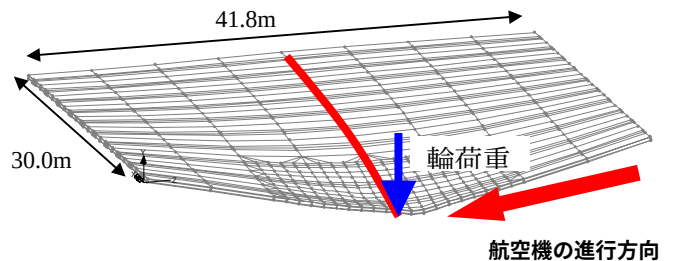


図-4 変形図

安全性が確保されると判断できる。

6. まとめ

提案構造は、大型航空機荷重に対応できることが判断できる。また、局部的に大きな集中荷重が作用するコンクリート床版の押抜きせん断耐力および疲労耐久性は十分に安全であることがわかった。しかし、局部的に大きな集中荷重が作用する部分の床版と T 鋼桁とのずれ挙動は重要となりえるので、今後、検討する必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省航空局監修：空港土木施設設計基準，平成 13 年 4 月
- 2) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編 II 鋼橋編，平成 14 年 3 月
- 3) 土木学会 鋼構造委員会：道路橋床版の設計の合理化と耐久性の向上，平成 16 年 11 月